

Análisis de las humedades de un monasterio

Vanesa Asenjo Mongín

COLEGIO DE ARQUITECTOS TÉCNICOS DE MADRID

RESUMEN

En esta comunicación se intenta exponer el análisis de las humedades detectadas en un Monasterio del siglo XV llegando al diagnóstico de su posible origen.

Para ello se toman datos de la situación y extensión de los síntomas de humedad que presentan los diferentes paramentos del Monasterio. También se realizó la toma de datos del trazado de diferentes vías y canalizaciones de agua, tanto en el perímetro del Monasterio como de algunas que lo atraviesan subterráneamente. Se comprobó que muchas de estas canalizaciones llevan un abundante caudal durante las distintas épocas del año, incluso en periodos de pocas precipitaciones como el vivo durante el otoño de 2007. Se tomaron datos igualmente de las redes de drenaje y saneamiento y de las zanjas perimetrales existentes en la base del muro Norte del Monasterio, tanto de sus dimensiones como de los materiales con que se han ejecutado.

Para el estudio del comportamiento hídrico de diferentes locales del Monasterio se instalaron termohigrómetros de registro continuo que registran la temperatura y la humedad relativa del aire. Se instalaron tres Data-Loggers, dos de ellos de manera permanente en el interior y en el exterior del muro Norte del local del refectorio. Un tercer equipo se instaló en diferentes estancias, en diferentes fechas, para poder comparar los datos con los obtenidos en el Refectorio. También se instalaron en el muro Norte del Refectorio sondas de temperatura superficial, tanto en su cara interior como exterior.

Para completar el estudio se procedió a la toma de muestras de los materiales constitutivos de los muros del Monasterio, para su posterior ensayo. El objetivo de los ensayos era determinar el contenido de humedad original del material en el momento de la extracción y el comportamiento hídrico de los materiales de las fábricas, mediante la confección de los “ábacos de comportamiento hídrico”. Estos ábacos reflejan los contenidos de agua (expresados en % en peso en una escala) que un material puede llegar a contener en relación a cada una de las formas de adsorción, absorción y penetración del agua. El contenido de humedad original del material, expresado igualmente en % del peso de la muestra, indica el contenido de agua del material en el momento de la extracción.

2.- DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El Monasterio engloba la Iglesia, el Claustro Viejo, el Claustro Nuevo, el Palacio. Además existen otras edificaciones auxiliares en el entorno del Monasterio diseminadas por la finca.

Los claustros del Monasterio están situados al Norte del cuerpo de la Iglesia, quedando el Claustro Viejo adosado a ella. Constan de dos plantas, excepto el ala Norte del Claustro Nuevo y el ala central entre ambos claustros que cuentan además con aprovechamiento de una Planta Bajocubierta.

Por su parte, el Palacio está situado al Sur del cuerpo de la Iglesia y adosado también a ella. Al aprovechar el desnivel natural del terreno, respecto del nivel de los claustros, cuenta con tres plantas: Baja, Primera y Segunda; quedando la Planta Segunda casi a nivel con la Planta Alta del Claustro Viejo.

El acceso al Palacio se realiza por un cuerpo porticado de tres plantas: galería de acceso en Planta Baja, terrado en Planta Primera (por el que se realiza el acceso de público a la zona de visita turística del Palacio) y mirador del Palacio en Planta Segunda.

La Planta Baja corresponde a un porche de acceso formado por pilastras de fábrica de ladrillo en las fachadas y columnas de granito labradas en los apoyos interiores. Sobre ellos apoyan arcos de fábrica de ladrillo visto y bóvedas para la formación del forjado del terrado de la Planta Primera. El forjado del mirador de Planta Segunda está formado por viguetas y vigas de madera apoyadas sobre columnas de granito labrado con basas de fábrica de ladrillo, en Planta Primera.

3.- DESCRIPCIÓN DE LESIONES

Las lesiones más generalizadas en el Monasterio, son las humedades, que afectan a la mayoría de los recintos de la Planta Baja y Primera del Monasterio, a algunos de la Planta Segunda y a paramentos verticales y bóvedas de la Iglesia. Además, de manera generalizada, las humedades afectan a los muros de cerramiento de fachada exteriores del Monasterio y a las fachadas de los claustros.

Durante las visitas realizadas se tomaron datos de la situación y extensión de los síntomas de humedad que presentan los diferentes paramentos del Monasterio.

También se realizó la toma de datos del trazado de diferentes vías y canalizaciones de agua, tanto en el perímetro del Monasterio como de algunas que lo atraviesan subterráneamente. Se comprobó que muchas de estas canalizaciones llevan un abundante caudal durante las distintas épocas del año, incluso en periodos de pocas precipitaciones como el vivido durante el otoño de 2007. Se tomaron datos igualmente de las redes de drenaje y saneamiento y de las zanjas perimetrales existentes en la base del muro Norte del Monasterio, tanto de sus dimensiones como de los materiales con que se han ejecutado.

4.- DIAGNÓSTICO DE LAS HUMEDADES

En el diagnóstico de las humedades es conveniente proceder de un modo sistemático, aunque en cada caso el estudio se singularice al verse afectado por diversos factores, como son la tipología constructiva, de materiales, la edad, el entorno e incluso la historia del edificio. El método de trabajo se basa en una relación causa-efecto, teniendo en cuenta que la certeza que se desprende de esta correlación no es siempre definitiva, pues la realidad no se agota con un listado de posibles “causas” y “efectos”. La investigación descubrirá los factores que han podido intervenir en mayor o menor medida en el desarrollo de una cierta patología, pudiendo arrojar luz sobre ella. Sin embargo, la concomitancia de los diferentes factores actuantes, en muchos casos complica el diagnóstico certero.

El método de trabajo de diagnóstico, en líneas generales pasa por:

- Estudio de la documentación aportada sobre el edificio, su entorno, el terreno y la historia del edificio
- Reconocimiento e identificación de lesiones
- Monitorización del edificio
- Toma de datos y muestras
- Ensayo de las muestras en laboratorio
- Estudio y análisis de los resultados
- Diagnóstico

Una vez definidos los posibles estados patológicos, el método de diagnóstico será posible si existe un modo de reconocer y cuantificar los síntomas para relacionarlos con las causas. El procedimiento, encaminado a la detección de los posibles focos, que viene siendo propuesto generalmente atiende a:

- Medir la humedad y temperatura del aire, tanto en el exterior como en el interior
- Medir la humedad y temperatura de los muros
- Detectar la presencia de sales en los muros y pavimentos
- Analizar la distribución de humedad en los muros en contacto con el terreno

Se ha realizado el estudio en profundidad del Refectorio, por ser uno de los locales representativos del Monasterio y presentar a lo largo de todo el año unos niveles de humedad en el ambiente muy elevados. Para ello se tomaron datos de temperatura y humedad ambiental tanto del interior del local, del exterior y de locales contiguos al mismo (local identificado como “Ruinas” y rehabilitado como posible comedor de diario para la Comunidad en Planta Primera y del local destinado a almacén de libros situado en Planta Segunda). También se han tomado datos en el local situado en el cuerpo de ampliación del Claustro Viejo, identificado como “Recepción de Visitantes”, por la importancia de los síntomas de humedad que presentaba. Además se tomaron datos exteriores en el perímetro de la fachada Este, zona también muy afectada.

5.- TOMA DE DATOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LAS HUMEDADES

5.1.-MEDIDA DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL AIRE

Los datos obtenidos durante las inspecciones oculares se completan con la toma de datos termohigrométricos del aire en contacto con los paramentos. Se miden la temperatura y la humedad específica del aire en el perímetro interior y exterior del recinto, con objeto de detectar posibles focos por los que el agua está evaporando y estudiar el comportamiento hídrico del edificio.

Para realizar la medida de la humedad y temperatura del aire se han utilizado 2 termohigrómetros de lectura digital casi instantánea y una toma de datos continua mediante la instalación de tres Data-Loggers de registro continuo.

Se realiza un recorrido por el interior y exterior del Refectorio tomando medidas de humedad relativa y temperatura a 1,00 m y a 0,85 m del suelo y a unos 0,10 m de la pared. Se tomaron también medidas a 0,10 m del suelo del Refectorio, pero en este caso no se pudo colocar el aparato cercano al arranque del muro, por la presencia de un banco y un zócalo perimetral, teniendo que situarlo a unos 0,90 m de la pared. También se tomaron medidas en el eje central del local, paralelo a la fachada Norte.

La toma de datos se ha realizado repetidamente en las visitas que se han realizado, siguiendo el recorrido descrito y midiendo en los mismos puntos.

Simultáneamente a estos trabajos, se instalan tres Data-Loggers (termohigrómetros portátiles de registro continuo). Se están recogiendo datos del exterior y del interior del Refectorio y del almacén de libros de la biblioteca. Los Data-Logger A y C, permanecen fijos. El A en interior del Refectorio, y el C en el exterior. El Data-Logger B se ha ido cambiando de sitio según las fechas abajo indicadas.

El objetivo de esta toma de datos es localizar posibles focos de evaporación de humedad desde la base de los muros hacia el ambiente de los locales. Este es el fundamento para la detección de

la humedad por capilaridad en la solera o los muros de los edificios. Cuando hay humedad en el terreno, si las condiciones ambientales lo permiten, se produce una evaporación, y un instrumento de medida de humedad del aire que sea suficientemente sensible permite detectar este fenómeno. El foco será tanto más intenso cuanto mayor sea la diferencia de humedad respecto al “aire seco” de otros puntos del edificio o del exterior. Cuando el foco de evaporación está a nivel del terreno, los mayores contenidos de humedad se detectan en zonas bajas del edificio.

Análisis de los resultados

Las mediciones han sido realizadas en diferentes épocas del año y con distinta climatología: el 15 de marzo de 2007 el día era despejado y soleado, el 27 de marzo de 2007 estuvo nublado, el 17 de mayo de 2007 alternaban nubes y claros, mientras que el 5 de junio fue un día soleado. Por último, el 12 de marzo de 2008 fue un día nublado.

A pesar de los cambios en la temperatura ambiente exterior, la temperatura interior del Refectorio se mantiene siempre por debajo de la exterior. También está por debajo de la temperatura de locales situados en plantas superiores, en su misma vertical.

Por su parte, el contenido de humedad del ambiente interior del Refectorio generalmente es superior, aunque en ocasiones presenta valores similares al del ambiente exterior. De manera similar, la presión de vapor del ambiente interior es superior a la del ambiente exterior. Estos datos son indicio de la existencia de un foco de evaporación y, por tanto de aporte de humedad al ambiente, en el interior del Refectorio, posiblemente procedente del terreno.

Comparando los valores registrados en los meses de mayo y junio de 2007 con las lecturas de los meses de marzo de 2007 y 2008, se observa un mayor contenido de humedad en el ambiente interior del Refectorio, lo que puede asociarse a un aumento de la evaporación en la época más seca.

El mayor contenido de humedad registrado en el local de la Planta Bajocubierta respecto a los registrados en la Planta Segunda y en el ambiente exterior en la misma fecha parece indicar la existencia de otro aporte de humedad en dicho local, posiblemente relacionado con filtraciones observadas en el muro de cerramiento Oeste, coincidiendo con el encuentro del faldón de cubierta con dicho muro.

5.2.-SEGUIMIENTO HIGROMÉTRICO DEL EDIFICIO

Como complemento al estudio realizado con los termohigrómetros portátiles, se instalaron termohigrómetros de registro continuo de humedad y temperatura, tal y como se ha especificado anteriormente.

Dos de los equipos se instalaron en una ventana del muro Norte del Refectorio (Data-Loggers A y C) de manera permanente durante todo el periodo de registro de datos. el objetivo era analizar conjuntamente las variaciones de las condiciones de temperatura y humedad del ambiente del Refectorio a lo largo de los días y en relación con el ambiente exterior.

Un tercer equipo se fue instalando en diversos recintos o locales en diferentes periodos, para de esta manera obtener información complementaria por comparación con los datos del interior del Refectorio.

Análisis de los resultados

En el registro de temperaturas del interior del Refectorio no se han observado variaciones significativas entre distintos puntos del local. Además, la temperatura interior se mantiene muy constante a lo largo del día, con intervalos de variación diaria de 2 a 3 °C. Por el contrario, el intervalo de fluctuación de la temperatura exterior, tanto diaria como anual, es mucho más amplio.

A lo largo del año, la temperatura varía en paralelo al aumento y descenso de la temperatura exterior. La temperatura máxima del ambiente interior varía entre los 9 – 12 °C en marzo y abril, de 14 – 18 °C en mayo, junio y octubre, de 21 – 22 °C en agosto y entorno a 7 °C en diciembre.

Del análisis de los datos registrados se desprende que la ventilación del interior del Refectorio es pequeña. Se produce principalmente por la apertura de alguna ventana o puerta, sólo a ciertas horas del día.

En resumen, se ha comprobado que el Refectorio presenta una gran estabilidad térmica aportada por la gran inercia térmica de sus muros y la reducida ventilación del local a lo largo del día. El comportamiento del Refectorio frente a la humedad es similar en algunos aspectos al que manifiesta con respecto a la temperatura.

Si analizamos los valores de humedad relativa registrados, conviene destacar la estabilidad de los valores del ambiente en el interior del Refectorio, que oscila siempre en torno al 60%-90%, a pesar de las variaciones exteriores.

La presión de vapor en el interior del Refectorio supera siempre ligeramente a la del aire exterior. Si se analizan los valores de humedad absoluta se obtienen resultados equivalentes. Salvo algunas excepciones puntuales, el contenido de humedad en el interior se mantiene por encima al del exterior.

Al contrario de lo que ocurría con la temperatura, en el caso de la humedad absoluta si se han observado variaciones en el contenido de humedad del ambiente dentro del propio local, registrándose valores más altos en las proximidades de la fachada Norte respecto de los registrados junto a la fachada Sur. Otro dato que se desprende del análisis de los registros realizados es que los locales de plantas superiores presentan menor contenido de humedad que el Refectorio.

A lo largo del año se han observado variaciones significativas en el contenido de humedad tanto del ambiente interior como en el exterior. El intervalo de variación diaria del contenido de humedad en el exterior es siempre mucho más amplio que en el ambiente interior.

A lo largo de los meses estudiados se puede observar como al incrementar la humedad exterior también lo hace la interior pero más despacio y con una menor amplitud de fluctuación. En algunas ocasiones al descender la humedad exterior bruscamente, la humedad interior no desciende y se mantiene constante, para al cabo de los días comenzar a descender ligeramente, presentando el muro una cierta inercia hídrica, ya comentada anteriormente.

Del mismo modo, cuando la humedad exterior comienza a bajar al entrar en temporadas más secas y frías del año, también lo hace la interior, pero como en el caso anterior, más despacio y con un menor intervalo de fluctuación entre sus valores.

También se observa que el intervalo de fluctuación de la humedad absoluta en el interior del Refectorio es mayor en la época más cálida del año (de junio a septiembre) que en los meses fríos. La humedad absoluta en el interior está comprendida entre 7,7 – 13 g/kg los meses más cálidos y entre 5 -7,5 g/kg en los meses más secos y fríos.

Por tanto, a lo largo del año, cuando los meses son frescos y poco húmedos (pocos días de lluvia), la humedad interior es mayor a la exterior, sin diferencias muy amplias. En los días muy secos se mantiene una cierta humedad interior constante. En los meses cálidos, se ha podido observar que la humedad dentro del Refectorio es muy alta aunque en el exterior los días sean secos. Cuando durante estos meses cálidos los días son húmedos, de posibles lluvias, la humedad exterior supera o iguala a la interior algunas horas del día. En meses muy fríos y en temporada de sequía (otoño 2007 e invierno de 2007-08), la humedad tanto exterior como interior es baja y más o menos similar.

En resumen, se detecta mayor contenido de humedad en el interior de Refectorio que en el exterior y que en locales de plantas superiores. La diferencia entre el contenido de humedad en el interior del Refectorio y en el ambiente exterior aumenta en el periodo cálido y seco del año. Esto demuestra la existencia de uno o varios focos de humedad en el interior del Refectorio, cuya evaporación hace aumentar la cantidad de vapor en el aire por encima de la que sería normal en el entorno del Monasterio.

Se ha comprobado que la zona próxima al muro Norte del Refectorio presenta un mayor contenido de humedad que la próxima al muro Sur. Además, se ha comprobado cierta relación entre las precipitaciones de lluvia y el aumento del contenido de humedad en el interior del Refectorio. Esta relación se produce con un cierto desfase en el tiempo y, aunque los valores de la humedad exterior desciendan, el aumento del contenido de humedad en el interior se mantiene algunos días. Esto parece indicar que existe una cierta inercia hídrica del muro Norte, que hace que el paramento absorba agua cuando hay ambiente húmedo o se producen las precipitaciones en el exterior y la cede cuando el aire se seca.

En la temporada de sequía que hemos vivido desde otoño de 2007 hasta finales invierno de 2008 la humedad en el interior ha descendido apreciablemente y se ha equilibrado con la del exterior. Esto parece lógico, ya que durante el verano se ha evaporado, en gran medida, la humedad interna del muro y no se ha recuperado debido a la sequía.

5.3.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS MATERIALES DE LOS PARAMENTOS

A partir de las muestras de material extraídas de los muros, se ha determinado el contenido de humedad original de cada una de las muestras y se han confeccionado los “ábacos de comportamiento hídrico”.

Las muestras se extrajeron mediante broca de corona circular accionada con taladro eléctrico, de modo que se altere lo menos posible el contenido en agua del material durante el muestreo. En algún caso en que no se pudo perforar mediante corona, generalmente en el caso del granito de los mampuestos, la muestra se extrajo mediante cincel y martillo. Tras la extracción, para su conservación y transporte las muestras se introducían en recipientes herméticos previamente tarados y se identificaban. Posteriormente se trasladaron al laboratorio para su estudio.

Se seleccionaron un total de 15 zonas de extracción, correspondientes al Claustro Nuevo, al interior del Refectorio, al interior del local contiguo al Refectorio identificado como “Ruinas” y al paramento exterior de la fachada Norte coincidiendo con zonas de extracción del interior del Refectorio y del local “Ruinas”. En cada una de dichas zonas se procedió a la extracción de muestras en diferentes alturas respecto del pavimento, generalmente dos o tres puntos, para conocer las diferencias en el contenido de humedad y en el comportamiento de los materiales según la altura. También se tomaron muestras a ambos lados de un mismo muro y a una misma altura del mismo, para determinar el comportamiento respecto a la variable interior-exterior.

En cada punto de extracción las muestras se iban extrayendo en profundidad, diferenciando los diferentes materiales constitutivos de la sección del muro. Cada una de las muestras se identificaba mediante una nomenclatura que permite reconocer la zona, orientación y punto de extracción, según el siguiente esquema:

ZONA DE EXTRACCIÓN O LOCAL	Nº DE ZONA DE EXTRACCIÓN	ELEMENTO CONSTRUCTIVO ORIENTACIÓN		ALTURA DE EXTRACCIÓN RPTO. DEL PAVIMENTO		Nº DE MUESTRA	PORCIÓN DE LA MISMA MUESTRA
CN	01	FO	/	020	/	Mo01	A

El contenido de humedad original del material indica el contenido de agua del material en el momento de la extracción, expresado igualmente en % del peso de la muestra.

Los “ábacos de comportamiento hídrico” reflejan los contenidos de agua que un material puede llegar a contener en relación a cada una de las formas de adsorción, absorción y penetración del agua, expresados en % en peso de la muestra sobre una escala.

Con los datos obtenidos se elabora una gráfica que sitúa la humedad original de cada material dentro de una caja que explica sus humedades de equilibrio al 75% (h75) y al 98% (h98), su contenido de agua en saturación por succión capilar (hcap), el contenido de agua por absorción bajo 5 cm de agua (hi) y el contenido de agua por absorción bajo presión de 20 mm Hg (hsat). La humedad original h (%) viene representada por un círculo (o).

Las muestras en las que h se encuentra dentro del primer recinto de su caja (hasta h75), tiene la humedad que les corresponde de acuerdo con las condiciones ambientales: son puntos que están en equilibrio con su ambiente. Si el tamaño de la caja es pequeño, podemos hablar de materiales “sanos”. Si las cajas son anormalmente largas, se puede pensar que estos materiales sufren una condensación por presencia de sales.

Las muestras cuya h se encuentra entre h75 y h98, están en zonas de evaporación, es decir, reciben vapor de agua por difusión desde algún otro material mojado contiguo. Aquellas muestras en las que h está por encima de h98 son puntos sometidos a la presencia de agua líquida: hay una fuente de humedad capilar próxima. De manera similar se analizarían el resto de los tramos hasta la humedad de saturación (hsat).

El tamaño de la caja en el intervalo higroscópico o de adsorción (h98) indica una mayor o menor higroscopicidad del material.

Con la ayuda de estos gráficos se puede comprender de modo sencillo que le está sucediendo a cada material muestreado.

Estudio de los resultados

Una vez confeccionados los ábacos para las muestras de los diferentes puntos de extracción, se pasa a analizar los resultados. El análisis no sólo se hace de manera individual para cada punto, sino que se relacionan diferentes puntos de extracción, próximos entre sí, para completar el análisis con la comparación de sus resultados.

Claustro Nuevo y Refectorio. Fachada orientación Sur. Zonas CNo4FS- RFo5FS

En ambas zonas de extracción se observa que el contenido de humedad es mayor en la zona baja del muro, presentando las muestras a ambos lados del muro contenidos de humedad situados en la zona de succión capilar hasta una altura de 150 cm respecto del pavimento del Claustro.

Comparando los puntos de extracción a similares alturas a ambos lados del muro, las muestras de los materiales recogidas por el paramento interior (RFo5FS) presentan en las capas internas del muro (a partir de los 3 cm) mayor humedad que las del exterior (CNo4FS).

El paramento exterior presenta manchas de humedad, con eflorescencias asociadas, hasta una altura aproximada de 120 cm respecto del pavimento. Sin embargo, el paramento interior no presenta manchas de humedad y el contenido de humedad de las muestras superficiales es bajo. Debe indicarse que los paramentos interiores han sido pintados en repetidas ocasiones en los últimos años.

Los materiales extraídos en ambas caras del muro y a alturas equivalentes presentan comportamientos higroscópicos similares, tanto el mortero de revestimiento como el granito interior. Los morteros de revestimiento de la zona inferior del muro (CNo4FS/020/Mo44 y RFo5FS/050/Mo53) presentan un intervalo higroscópico ligeramente más amplio que los morteros de revestimiento de zonas superiores, posiblemente por la presencia de sales asociadas a las eflorescencias.

Refectorio y local “Ruinas”. Muro de partición interior. Zonas RFo6MC-RU13MC-RU15MC

Las zonas de extracción están situadas en ambas caras del paramento de separación entre ambos locales, las zonas RFo6MC-RU13MC están próximas a la esquina con el muro de fachada Norte, mientras que la zona RU15MC está próxima al muro Sur. El pavimento del local “Ruinas” está aproximadamente a 70 cm por encima del pavimento del Refectorio.

Por el lado del Refectorio, el muro está formado por varias capas, que de exterior a interior son: mortero de revestimiento de cal, ladrillo hueco sencillo (nuevo), cámara de aire $e=3$ cm, ladrillo macizo (antiguo). Por la cara del local “Ruinas”, el muro presenta las siguientes capas: en la cata RU13MC/110 mortero de revestimiento $e=3$ cm y fábrica de ladrillo hueco hasta los 16 cm de profundidad; y en las catas RU13MC/150 y RU13MC/200 mortero de revestimiento de $e=6$ cm aproximadamente y fábrica de granito.

En ambas caras del muro, las zonas bajas del muro presentan mayor contenido de humedad que las zonas superiores, disminuyendo gradualmente según se gana altura. Los contenidos de humedad de los materiales del interior del muro a ambos lados del mismo se encuentran en el intervalo de succión capilar. Si comparamos las muestras extraídas a una altura equivalente, los contenidos de humedad se sitúan en zonas equivalentes de sus respectivos intervalos de succión capilar.

Por el lado del Refectorio se observa una clara diferencia del contenido de humedad de las capas exteriores del muro (mortero de revestimiento y L.H.S) y el de la situada tras la cámara de aire (ladrillo macizo antiguo), presentando ésta unos contenidos muy superiores, en las diferentes alturas, a los de las capas externas. El ladrillo macizo de la zona baja presenta un contenido de humedad próximo al correspondiente a su intervalo de absorción bajo presión. El contenido de humedad del mortero de revestimiento en las diferentes alturas se encuentra en la zona de evaporación del material (intervalo higroscópico).

Desde el local “Ruinas”, el mortero de revestimiento presenta también, en las dos zonas de extracción y en todas las alturas, contenidos de humedad próximos o en la zona de evaporación, mientras que los materiales del interior del muro (fábrica de ladrillo y granito) presentan en todas las

alturas estudiadas contenidos de humedad dentro del intervalo de succión capilar, manteniéndose prácticamente constante en el granito a 150 cm y 200 cm (respecto de la referencia del pavimento del Claustro).

Refectorio. Muro de fachada Norte. Zona RFo7MN- ExtogFN

Las zonas de extracción están situadas a ambas caras del muro de cerramiento de fachada Norte del Refectorio, hacia la mitad del eje longitudinal del Refectorio. La zona RFo7MN corresponde al paramento interior y la zona ExtogFN al paramento exterior. Donde fue posible, se extrajeron muestras de puntos situados al mismo nivel para relacionar los resultados a ambos lados del muro.

La zona baja del muro Norte del Refectorio se encuentra posiblemente en contacto con el terreno en su cara exterior, dado que la base de la zanja existente en el exterior queda por encima del nivel del pavimento del Refectorio.

Comparando los contenidos de humedad de las muestras extraídas a una misma altura por el interior y el exterior, se comprueba que existe un cierto gradiente descendiente del exterior hacia el interior. Los morteros de revestimiento de las muestras exteriores presentan contenidos de humedad muy elevados, que aumentan aún más en los morteros y ladrillos de las capas internas del muro, situándose en el tercio superior de la zona de succión capilar. El granito de la fábrica del muro presenta también contenidos de humedad muy elevados (en la mitad de la zona de succión capilar del material) y similares a ambos lados del muro. Por último, el mortero de revestimiento en la cara interior del muro, aunque presenta también contenidos de humedad elevados (tercio inferior de la zona de succión capilar), éstos son inferiores a los de los morteros exteriores.

En las muestras de mortero y ladrillo exteriores se observan contenidos de humedad similares en las dos alturas en que se extrajeron muestras, mientras que el granito presenta un mayor contenido de humedad a 432 cm de altura. Por su parte, en la cara interior del muro las muestras de la zona baja (a 50 cm del pavimento) presentan contenidos de humedad sensiblemente superiores a los de las muestras superiores. El mortero de revestimiento interior tiene un contenido de humedad ligeramente superior a 50 cm de altura, para luego estabilizarse en el resto de las muestras (150 cm, 220 cm y 432 cm). El granito muestra un claro gradiente descendiente en su contenido de humedad según se asciende (50 cm = 3,08%; 150 cm = 1,68%; 220 cm = 1,17%), excepto en la muestra extraída a 432 cm en que sufre un brusco aumento (5,39%).

Refectorio. Muro de fachada Norte. Zona RFo8MN- Ext1oFN

Las zonas de extracción están situadas a ambas caras del muro de cerramiento de fachada Norte del Refectorio, en la esquina noroeste del Refectorio. La zona RFo8MN corresponde al paramento interior y la zona Ext1oFN al paramento exterior.

El comportamiento del muro en esta zona, situada más al Oeste de la fachada, es similar al estudiado en las zonas de extracción del apartado anterior, correspondientes al punto medio de la fachada del Refectorio.

En el conjunto del muro se observa un mayor contenido de humedad en las capas internas del muro. Por otra parte, el mortero superficial del exterior de la fábrica presenta un mayor contenido de humedad que el mortero de revestimiento hacia el interior del Refectorio.

Analizándolo en altura, también se observa un mayor contenido de humedad en la zona baja del muro frente a las muestras de puntos más altos.

Se debe recordar que la zona baja del muro se encuentra por debajo de la zanja exterior y posiblemente en contacto con el terreno.

6. DIAGNÓSTICO

Tras el estudio realizado, que comprende la inspección visual y mediante la técnica de Termografía Infrarroja, el registro de humedad y temperatura de diferentes ambientes del Monasterio y la toma de muestras y su posterior ensayo en el laboratorio para conocer el contenido de humedad de los muros y sus “ábacos de comportamiento hídrico”, se pueden extraer las siguientes conclusiones respecto del origen de los distintos síntomas de humedad que presenta el Monasterio .

- A pesar de que el estudio se ha realizado durante un año de sequía, con una considerable disminución de las precipitaciones, los materiales analizados presentan contenidos de humedad elevados, lejos de los contenidos correspondientes a su equilibrio hídrico. Los materiales continúan mojados.
- Se han identificado diversos puntos en los que se observan humedades de filtración asociados a fallos o defectos en la estanquidad de las cubiertas o de puntos singulares de las mismas, generalmente en las cumbreras de faldones coincidentes con paramentos verticales. Muchos de estos puntos están localizados entorno al cuerpo de la Iglesia, en los encuentros de los faldones de cubierta con los muros de la misma, como por ejemplo, en el distribuidor de Planta Segunda entre los dos Claustros (Imágenes 23 a 26) o en las escaleras situadas a ambos lados de los pies de la Iglesia: esquina Suroeste del Claustro Viejo (Imagen 27) y acceso al Terrado de Planta Segunda del Palacio (Imagen 28).



*Imagen 23.
Planta Segunda. Distribuidor entre los Claustros*



*Imagen 24.
Planta Segunda. Escalera SE del Claustro Viejo*



*Imagen 25.
Interior de la Iglesia. Humedad coincidente con
la escalera SE del Claustro Viejo*



*Imagen 26.
Encuentro faldón de cubierta con el
paramento vertical de la Iglesia*

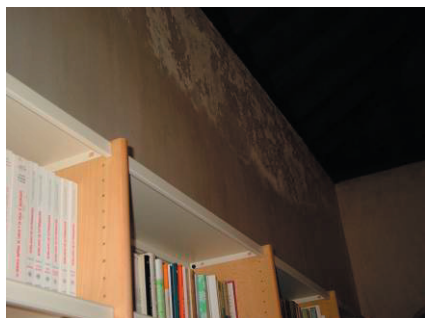


*Imagen 27.
Planta Segunda. Escalera en la
esquina SO del Claustro Viejo*



*Imagen 28.
Planta Segunda. Escalera de
acceso al Terrado del Palacio*

También se han observado filtraciones por fallos en la estanquidad del encuentro de la cubierta con los paramentos verticales en otras zonas del Monasterio, como por ejemplo en la fachada Este del almacén de libros de la Planta Bajocubierta (Imágenes 29 a 32).



*Imagen 29.
Planta Bajocubierta. Almacén de libros*



*Imagen 30.
Planta Bajocubierta. Almacén de libros*



*Imagen 31.
Fachada Este del cuerpo de Planta
Bajocubierta (24-01-2007)*



*Imagen 32.
Fachada Este del cuerpo de Planta
Bajocubierta (12-03-2008)*

En otras ocasiones las filtraciones están relacionadas con escorrentías de evacuación de los faldones de cubierta que caen concentradas sobre otros cerramientos, como por ejemplo en el local de “Acceso de visitantes” situado al Noroeste del Claustro Viejo (Imágenes 33 y 34).



*Imagen 33.
Interior de la esquina SE del
local de “Acceso de visitantes”*



*Imagen 34.
Fachada Este del local de
“Acceso de visitantes”*

También se comprobó la existencia de filtraciones en las bóvedas de ladrillo de la Planta Baja del Cuerpo de Acceso al Palacio. Estas filtraciones están asociadas a la falta de impermeabilización del pavimento de la Planta Primera del Cuerpo de Acceso y, en particular, de las jardineras existentes en su fachada Sur.

- En general, se ha comprobado que en el arranque de los muros del Monasterio existe un problema de humedades por succión capilar, sin presión, de la humedad del terreno. Este problema afecta fundamentalmente a los muros de la crujía exterior del Monasterio en las zonas Norte, Este y Oeste y a la Casa del Obispo. La mayor intensidad se observa en los muros de fachada exteriores de dichas crujías (Imágenes 35 a 38), aunque afecta también de manera importante a los muros de cerramiento de dichas crujías hacia sus Claustros correspondientes (Imágenes 39 y 40), o a los muros de partición interiores de las crujías.



*Imagen 35.
Fachada Este*



*Imagen 36.
Fachada Norte*



*Imagen 37.
Fachada Sur del Patio de Rombos*



*Imagen 38.
Casa del Obispo*



*Imagen 39.
Claustro Nuevo*



*Imagen 40.
Claustro Viejo*

Del análisis de las muestras de material extraídas de los muros del Monasterio en función de la altura de extracción, en todas las zonas estudiadas se observa un gradiente de disminución del contenido de humedad según se asciende por el muro.

El contenido de humedad de las muestras extraídas de las fachadas con orientaciones Oeste y Sur del Claustro Nuevo, del muro Sur del local denominado “Ruinas”, del muro Sur del Refectorio y del muro de partición interior entre el Refectorio y el local “Ruinas” disminuye sensiblemente con la altura, incluso en algún caso el material se encuentra seco en las alturas más altas estudiadas. De ello se deduce que la humedad detectada en estos muros proviene de la succión capilar desde el terreno de agua sin presión, asociado a la diferencia de presiones de vapor entre el agua del suelo y el ambiente.

Esta zona del Monasterio coincide con una de las vías de agua que atraviesan el Monasterio por su subsuelo. Al no estar canalizada, es lógico que el terreno circundante a dicha vía de agua presente un mayor contenido de humedad y, por tanto, suponga un mayor aporte a la base de los muros y al pavimento.

Por otra parte, las muestras extraídas de muros que en su arranque están en contacto con el terreno por su trasdós, presentan contenidos de humedad en la zona baja del muro más altos que el que presentan muros con ambas caras al aire. Esto justifica el hecho de que el problema de la succión capilar se acentúa en aquellos muros que actúan como contención de tierras y que, por tanto, están en contacto con el terreno no sólo en su base sino también en su trasdós. Esto puede observarse, por ejemplo, en el muro de fachada Norte, tanto del Refectorio, del local “Ruinas” o del local “Acceso de Visitantes” (**Imagen 41**) y demás locales del cuerpo anejo en la esquina Noroeste del Claustro Viejo (**Imagen 42**) o en el muro Sur del local “Ruinas” de cerramiento hacia el Claustro Nuevo.



Imagen 41.
Local "Acceso de Visitantes"



Imagen 42.
Salón en el cuerpo adosado a la
esquina Noroeste del Claustro Viejo

Además de la fachada Norte del Monasterio, otra zona con importantes problemas de succión capilar se localiza en el muro de orientación Oeste del Claustro Nuevo, entre la lavandería y la leñera. Las crujiás Norte y Oeste del Claustro Viejo y el cuerpo anejo a la esquina Noroeste de dicho Claustro y la fachada Este del Monasterio (aunque en menor medida en este caso) también presentan síntomas significativos de humedad por succión capilar.

- El estudio realizado demuestra que además existe un problema de humedades por filtración o absorción por la superficie de los paramentos de fachada, que afecta fundamentalmente a los muros que presentan su superficie más deteriorada y sin revestimiento, como son la fachada Norte del Monasterio y la fachada Este (**Imágenes 43 y 44**).



Imagen 43.
Fachada Este



Imagen 44.
Fachada Norte

Analizando las muestras de material extraídas en diferentes zonas de la fachada Norte del Refectorio y del local denominado "Ruinas" se comprueba que el contenido de humedad de las mismas disminuye también según se asciende en altura, como en otros muros afectados por la succión capilar del agua del terreno, pero en este muro la reducción del contenido de humedad es menor. En general el muro presenta un contenido de humedad muy elevado en las tres zonas estudiadas y a todas las alturas, con contenidos similares entre ellas comparando alturas equivalentes. Analizando la sección del muro se observa también cierto gradiente del contenido de humedad, descendiendo progresivamente del exterior hacia el interior.

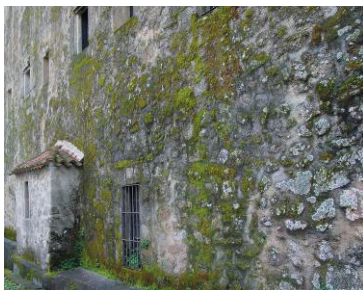
Por otra parte, en algunos puntos de extracción, el granito de la fábrica del muro Norte alcanza contenidos de humedad correspondientes a su intervalo de saturación por succión capilar, síntoma de que el material está saturado. Esto se produce no sólo en puntos de extracción de la zona baja del muro, sino también en puntos situados a 432 cm de altura.

Estos datos indican que el aporte de humedad en el muro de la fachada Norte no se sitúa únicamente en arranque del muro, por succión capilar del agua del terreno, sino que existe otro aporte relacionado con la filtración o la absorción desde la superficie exterior del muro.

Debe recordarse que el muro de fachada Norte del Monasterio presenta una superficie muy irregular y, en muchas zonas, sin revestimiento de la fábrica de mampuesto. Sobre su superficie se observan síntomas de escorrentía del agua de lluvia, problema producido no sólo por la acción combinada de las precipitaciones y de los vientos dominantes, sino que se ve agravado por la ausencia de vuelo de los aleros de cubierta, que permite que las aguas de cubierta viertan directamente sobre el paramento de fachada.

Además, el mortero de la fábrica de mampostería presenta una gran capacidad de absorción capilar, con valores del límite de saturación capilar que se sitúan entre el 10% y el 16,88%, lo que favorece la absorción de agua por dicha fábrica. Los organismos y la vegetación existentes en la superficie exterior del muro, por un lado demuestran el alto contenido de humedad del mismo y, por otro, favorecen la retención de humedad sobre el muro (**Imagen 45**).

La combinación de todos estos factores justifica los problemas de humedad que afectan a dicho muro. Cuando se producen las precipitaciones, el agua se filtra y/o es absorbida por los materiales, en ocasiones hasta su límite de saturación por succión sin presión. Cuando cesan las precipitaciones el muro comienza a evaporar, tanto hacia el exterior como hacia el interior. Si el intervalo entre precipitaciones es corto, el muro no llega a eliminar todo la humedad que contiene, elevando su contenido de humedad de nuevo y manteniéndose mojado. Si el intervalo entre precipitaciones es más amplio, el muro puede llegar a evaporar todo el contenido de humedad necesario para alcanzar el equilibrio con el ambiente.



*Imagen 45.
Detalle de la superficie
de la Fachada Norte*



*Imagen 46.
Almacén de libros de
Planta Segunda*

Este último proceso puede observarse en el local de almacén de libros situado en la Planta Segunda, sobre el Refectorio (**Imagen 46**). Así lo demuestran las eflorescencias observadas sobre la superficie del paramento interior durante la visita del 12 de marzo de 2008, tras un proceso de evaporación prolongado en el tiempo favorecido por el periodo de reducción de las precipitaciones asociado a la sequía del segundo semestre de 2007.

La capacidad de evaporación del muro hacia el ambiente que le rodea disminuye cuando dicho ambiente presenta contenidos de humedad próximos a su saturación. Este es el caso del Refectorio. El registro realizado mediante los Data-Logger pone de manifiesto que la humedad del ambiente del Refectorio en muchos momentos está próxima a la saturación (humedades relativas por encima del 90%). En estas condiciones, la capacidad de evaporación del muro hacia el ambiente interior se reduce, por lo que la humedad queda retenida durante más tiempo en el muro.

- Por último, no puede descartarse que en el muro Norte del Refectorio se produzcan humedades por condensación superficial sobre el paramento. El estudio realizado a puesto de manifiesto las condiciones de saturación del ambiente del Refectorio durante prácticamente todo el año.

El alto contenido de humedad de los paramentos del Refectorio, producido por los problemas de succión capilar de la humedad del terreno en muros y pavimento y por la absorción y filtración de humedad por la superficie exterior del muro, provoca que por efecto de la evaporación hacia el ambiente interior, se alcancen contenidos de vapor de agua en el ambiente interior próximos a la saturación. Este proceso se ve favorecido por la escasa ventilación del local que se desprende del análisis de los datos registrados de humedad y temperatura del ambiente.

El estudio realizado ha demostrado que con las condiciones de temperatura y humedad medias registradas para el ambiente interior y exterior en los meses de diciembre y enero, existe riesgo de que se produzcan condensaciones sobre la superficie del muro Norte del Refectorio.